

# ВЕСТНИК

## БЕЛОРУССКОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ АКАДЕМИИ

---

Научно-методический журнал  
Издается с января 2003 г.  
Периодичность издания – 4 раза в год

2010 № 3

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь журнал включен в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным, ветеринарным, экономическим (вопросы аграрной экономики) и техническим (сельскохозяйственное машиностроение) наукам

---

### СОДЕРЖАНИЕ

#### *АГРАРНАЯ ЭКОНОМИКА*

А.А. Тимаев, А.М. Каган, А.Б. Гедранович. Оценка инновационного потенциала и анализ его использования на предприятиях агросервиса .....	5
Д.И. Дадеркина, О.А. Шевченко. Состояние и перспективы развития личных подсобных хозяйств граждан .....	10
О.Ч. Величко. Гендерные особенности рынка труда в аграрном секторе .....	15
Збигнев Бочек. Методы оценки предприятий: опыт и проблемы .....	19
В.Н. Кулаков. Анализ современного состояния плодоводства в Республике Беларусь .....	25
Л.В. Корбут. Эффективное фермерское хозяйствование как фактор устойчивого развития агробизнеса и сельских территорий .....	29
М.М. Жудро. Формирование эффективной конкурентной среды на рынке аграрной техники .	33
Славомир Янкевич. Предпринимательство – ключевой фактор конкурентоспособности стран Восточной Европы .....	38
Е.В. Грузинская. Экономические модели системы и механизма кредитования .....	41

#### *ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, СЕЛЕКЦИЯ, РАСТЕНИЕВОДСТВО*

И.А. Прищепа, Д.А. Долматов, А.Н. Толопило. Защита огурца в защищенном грунте от вредителей и болезней при интенсивной технологии возделывания культуры .....	49
О.В. Янюк, В.З. Богдан, Н.Н. Петрова. Изучение зависимостей между признаками у сортов льна-долгунца графически-секторным способом анализа .....	53
М.В. Потапенко, В.П. Дуктов, Н.А. Дуктова. Эффективность различных схем применения пестицидов на посевах ярового пивоваренного ячменя .....	59
К.В. Коледа, Е.К. Живлюк, И.И. Коледа. Результаты государственного испытания новых сортов мягкой озимой пшеницы на хозяйственную полезность .....	63
Т.М. Серая, Т.Э. Минченко, Т.П. Полосикова. Влияние различных систем удобрений на продуктивность культур звена севооборота (озимая тритикале-люпин узколистный) на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава .....	67
Е.В. Горбачева, Т.Н. Азаренок, С.В. Шульгина. Влияние гумусного состояния агрозема культурного на его структурно-агрегатный состав .....	71
В.Н. Босак, О.Н. Марцуль, Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева. Влияние различных видов органических удобрений на продуктивность звена севооборота на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве .....	75
В.Г. Тарануха. Засоренность посевов желтого люпина и видовой состав сорняков в зависимости от применяемых гербицидов .....	78

## **ЖИВОТНОВОДСТВО И ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА**

<b>Н.А. Садомов.</b> Эмбриональное развитие осетровых рыб в условиях замкнутого водоснабжения: основные аномалии и причины их появления .....	82
<b>Н.А. Лобан.</b> Эффективность селекции на повышение продуктивных качеств свиней белорусской крупной белой породы с использованием маркерных генов .....	85
<b>М.В. Шалак, Н.А. Садомов.</b> Сравнительная характеристика различных видов и гибридных форм осетровых рыб при выращивании в установках замкнутого водоснабжения .....	90
<b>В.В. Зайцев.</b> Способ стабилизации биологических свойств лептоспир при хранении .....	93
<b>Н.В. Подскребкин, Н.А. Татаринцов.</b> Эффективность использования ферментного препарата «Roxazyme ® G2 Granular» в рационах молодняка свиней .....	97
<b>М.В. Шалак, Н.А. Садомов.</b> Физиолого-репродуктивный статус производителей осетровых рыб в преднерестовый период в условиях аквакультуры .....	102
<b>Н.Н. Катушонок, А.И. Портной, М.В. Шалак.</b> Химический состав и питательность свинины при использовании в рационе ароматической добавки .....	105
<b>В.В. Малашко, Е.И. Хомутицкий.</b> Гистохимический анализ содержания РНК в соматической мускулатуре цыплят-бройлеров кросса «Кобб-500» под воздействием катозала .....	108

## **МЕЛИОРАЦИЯ И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО**

<b>В.А. Свитин.</b> Модель информационного обеспечения использования и охраны земель сельскохозяйственного назначения .....	111
<b>А.В. Колмыков.</b> Севообороты как организационно-территориальная основа повышения эффективности использования земель .....	116

## **МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ**

<b>А.В. Червяков, С.В. Курзенков, П.Ю. Крупенин.</b> Моделирование процесса диспергирования зерновых кормов .....	122
<b>А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка.</b> Расчетно-теоретические исследования влияния состава смесевых топлив на основе рапсового масла на эксплуатационные показатели тракторного дизеля Д-245.5S2 .....	126
<b>А.В. Червяков, П.Ю. Крупенин.</b> Теоретические и экспериментальные исследования производительности роторного кавитационного измельчителя-диспергатора кормов .....	131
<b>А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка, И.Д. Кузьмич.</b> Анализ теоретических зависимостей для расчета свойств смесевых видов автотракторных дизельных топлив на основе рапсового масла ..	136
<b>В.Р. Петровец, В.Л. Самсонов, С.В. Колос.</b> Об эффективности внесения минеральных удобрений в системе точного земледелия .....	140
<b>А.Н. Карташевич, А.Ф. Скадорва, А.Е. Улахович, И.Л. Подшиваленко.</b> Выбор рационального режима работы пахотного агрегата .....	147
<b>А.С. Добышев, А.И. Филиппов, С.Н. Ладутько.</b> Результаты исследований массовых характеристик распространенных в Республике Беларусь сортов картофеля .....	151
<b>В.Р. Петровец, С.В. Авсюкевич.</b> Динамическое сопротивление двухдискового сошника с ребордами-бороздообразователями .....	155

## **НАВСТРЕЧУ 170-ЛЕТИЮ БГСХА**

<b>И.С. Серяков, А.В. Могильный.</b> Начало научных исследований в области животноводства в Беларуси .....	161
--	-----

## **ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ**

<b>И.С. Серяков, А.В. Могильный.</b> Создание белорусской черно-пестрой породы свиней (к 110-летию со дня рождения члена-корреспондента АН Беларуси Николая Митрофановича Замятина) .....	167
<b>Сведения об авторах</b> .....	169

**А.Н. КАРТАШЕВИЧ, В.С. ТОВСТЫКА, И.Д. КУЗЬМИЧ**  
**АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА СВОЙСТВ**  
**СМЕСЕВЫХ ВИДОВ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ**  
**НА ОСНОВЕ РАПСОВОГО МАСЛА**

(Поступила в редакцию 28.07.10)

В статье проанализированы теоретические зависимости для расчета свойств смесевых видов автотракторных дизельных топлив на основе рапсового масла. Рассчитаны групповой углеводородный состав топлива, средняя молекулярная масса, теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг топлива, низшая теплота сгорания. Получена формула для расчета вязкости смесевых топлив на основе рапсового масла при температуре топлива от 1 до 80°C с максимальной концентрацией масла  $K_{\text{рм}}=40\%$ , которая позволяет получить данные с погрешностью 0,06–9,9%. Усовершенствована формула для расчета цетанового числа смесевых топлив на основе рапсового масла.

The article examines theoretical dependences for calculation of properties of mixture types of motor-and-tractor diesel fuels on the basis of rape oil. We have calculated group hydrocarbon composition of fuel, average molecular weight, theoretically necessary amount of air for full combustion of 1 kg of fuel, and the lowest temperature of combustion. We have obtained a formula for calculation of viscosity of mixture fuels on the basis of rape oil at the temperature of fuel from 1 to 80°C and maximal oil concentration  $K=40\%$ , which helps to obtain data with error 0.06–9.9%. We have improved the formula for calculation of cetane number of mixture fuels on the basis of rape oil.

### Введение

К топливу для дизельных двигателей предъявляются жесткие требования. Оно должно обладать хорошими распыливанием, смесеобразованием, испарением и прокачиваемостью, быстрым самовоспламенением; полностью сгорать, причем без дымления; не вызывать повышенного нагаро- и лакообразования на клапанах и поршнях, закоксовывания распылителей, зависания иглы распылителей, коррозии резервуаров, баков, деталей двигателя, быть безопасным при применении и др. [1].

### Основная часть

Жидкие топлива нефтяного происхождения представляют собой смеси различных углеводородов и не могут быть выражены простыми химическими формулами. Для таких топлив содержание в них отдельных элементов определяют путем химического анализа и обычно дают в массовых долях. Дизельные топлива содержат следующие группы углеводородов: парафиновые, нафтеновые, олефиновые, диеновые и ароматические. Рапсовое масло по своему химическому строению представляет собой смесь триглицеридов с повышенной молекулярной массой и увеличенной длиной углеводородной цепи по сравнению с дизельным топливом (табл. 1). От группового состава углеводородов и жирных кислот в этих видах топлива зависят все их свойства [2, 3, 4].

Таблица 1. Жирнокислотный состав рапсового масла.

Наименование и обозначение жирной кислоты		Массовая доля в рапсовом масле, %	
		с массовой долей эруковой кислоты до 5 %	с массовой долей эруковой кислоты более 5 %
Тетрадекановая (миристиновая) C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>14:0</sub>	до 0,3	—
Гексадекановая (пальмитиновая) C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>16:0</sub>	2,5–6,5	1,0–6,5
Гексадеценная (пальмитолеиновая) C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>16:1</sub>	до 0,6	до 2,5
Октадекановая (стеариновая) C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>18:1</sub>	0,8–2,5	до 2,5
Октадеценная (олеиновая) C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>18:1</sub>	50,0–65,0	7,5–60,0
Октадекадиеновая (линолевая) C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>18:2</sub>	15,0–25,0	11,0–23,0
Октадекатриеновая (линоленовая) C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>18:3</sub>	7,0–15,0	5,0–12,5
Эйкозановая (арахиновая) C <sub>20</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>20:0</sub>	0,1–2,5	до 3,0
Эйкозеновая (гондолеиновая) C <sub>20</sub> H <sub>38</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>20:1</sub>	0,1–4,0	3,5–6,0
Эйкозациеновая C <sub>20</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>20:2</sub>	до 1,0	0,5–1,0
Докозановая (бегеновая) C <sub>22</sub> H <sub>44</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>22:0</sub>	до 1,0	0,6–2,5
Докозеновая (эруковая) C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>22:1</sub>	до 5,0	св. 5,0 до 60,0
Докозациеновая C <sub>22</sub> H <sub>40</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>22:2</sub>	до 0,5	0,6–2,5
Тетракозановая (лигноцериновая) C <sub>24</sub> H <sub>48</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>24:0</sub>	до 0,2	до 2,0
Тетракозеновая (селахоловая) C <sub>24</sub> H <sub>46</sub> O <sub>2</sub>	C <sub>24:1</sub>	до 0,5	до 3,5

Свойства топлива играют определяющую роль при рассмотрении параметров рабочего процесса дизеля. Важнейшей характеристикой топлив является их групповой углеводородный состав. Рассчитаем групповой состав рапсового масла. В ходе испытаний было использовано рапсовое масло с содержанием эруковой кислоты до 5%. На основании этого запишем в общем виде формулу рапсового масла  $C_nH_mO_r$  (табл. 1).

$$n = 14 \cdot 0,001 + 16 \cdot 0,045 + 16 \cdot 0,002 + 18 \cdot 0,0165 + 18 \cdot 0,564 + 18 \cdot 0,2 + 18 \cdot 0,11 + 20 \cdot 0,013 + 20 \cdot 0,0205 + 20 \cdot 0,005 + 22 \cdot 0,005 + 22 \cdot 0,01 + 22 \cdot 0,003 + 24 \cdot 0,002 + 24 \cdot 0,003 = 18,081;$$

$$m = 28 \cdot 0,001 + 32 \cdot 0,045 + 30 \cdot 0,002 + 36 \cdot 0,0165 + 34 \cdot 0,564 + 32 \cdot 0,2 + 30 \cdot 0,11 + 40 \cdot 0,013 + 35 \cdot 0,0205 + 38 \cdot 0,005 + 34 \cdot 0,005 + 42 \cdot 0,01 + 34 \cdot 0,003 + 48 \cdot 0,002 + 46 \cdot 0,003 = 33,402;$$

$$r = 2 \cdot 0,001 + 2 \cdot 0,045 + 2 \cdot 0,002 + 2 \cdot 0,0165 + 2 \cdot 0,564 + 2 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,11 + 2 \cdot 0,013 + 2 \cdot 0,0205 + 2 \cdot 0,005 + 2 \cdot 0,005 + 2 \cdot 0,01 + 2 \cdot 0,003 + 2 \cdot 0,002 + 2 \cdot 0,003 = 2.$$

Формула рапсового масла имеет вид  $C_{18,081}H_{33,402}O_2$ .

Следующий показатель, на котором стоит остановиться, – это элементный состав топлива. Он определяет массовое или объемное содержание отдельных химических элементов в одном килограмме топлива. Для дизельного топлива элементный состав следующий:  $C=0,86$  кг,  $H=0,14$  кг,  $O=0$  кг.

В связи с тем, что рапсовое масло имеет совершенно другую химическую формулу, чем дизельное топливо, у него будет и другой элементный состав. Рассчитаем среднюю молекулярную массу рапсового масла:

$$\mu_{pm} = 12 \cdot 18,081 + 1 \cdot 33,402 + 16 \cdot 2 = 282,374 \text{ кг/кмоль}.$$

Следовательно, массовые доли углерода, водорода и кислорода в 1 кг топлива будут следующие:

$$C = 12 \cdot 18,081 / 282,374 = 0,768 \text{ кг};$$

$$H = 1 \cdot 33,402 / 282,374 = 0,118 \text{ кг};$$

$$O = 16 \cdot 2 / 282,374 = 0,113 \text{ кг}.$$

Соотношение  $C:H:O$  для рапсового масла будет следующее 77:12:11.

При смешивании рапсового масла с дизельным топливом элементарный состав композиционного топлива будет меняться. Соотношение  $C:H:O$  для смесового топлива можно рассчитать по принципу адитивности:

$$K_{от} \cdot (C+H+O)_{от} + K_{pm} \cdot (C+H+O)_{pm} = 1,$$

где  $K_{от}$  и  $K_{pm}$  – массовые доли дизельного топлива и рапсового масла в смеси.

При сравнении элементного состава дизельного топлива и рапсового масла видно, что в молекуле масла меньшее количество атомов углерода и водорода, однако кислорода более 11%. Данное обстоятельство повлияет на необходимое количество воздуха для окисления 1 кг топлива.

В дизельном двигателе впрыснутое в цилиндр топливо вызывает цепочку сложных химических превращений. Реагируют два вещества: это воздух, нагретый до высокой температуры, и углеводородное топливо. В качестве окислителя выступает кислород, которого в воздухе по массе содержится приблизительно 23%, а по объему 21%. Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг топлива рассчитывается по формуле:

$$l_o = \frac{1}{0,232} \left( \frac{8}{3} \cdot C + 8 \cdot H - O \right), \text{ кг}.$$

Рассчитаем данный показатель для рапсового масла:

$$l_{pm} = \frac{1}{0,232} \left( \frac{8}{3} \cdot 0,768 + 8 \cdot 0,118 - 0,113 \right) = 12,4, \text{ кг}.$$

Для дизельного топлива этот показатель равен  $l_{дт} = 14,6 \text{ кг}$ . Как мы можем видеть, теоретически для полного сгорания рапсового масла требуется воздуха меньше, чем при сгорании дизельного топлива, что связано с наличием в молекуле масла кислорода.

Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг смесового топлива можно рассчитать по формуле:

$$l_{pm} = K_{дт} \cdot l_{дт} + K_{pm} \cdot l_{pm}.$$

Развиваемая двигателем мощность в основном определяется количеством впрыскиваемого в камеру сгорания топлива и его теплотворной способностью. Для оценки теплотворной способности топлив для дизелей используют низшую теплоту сгорания. Этот параметр можно найти как экспериментально, путем сжигания навески топлива в специальной калориметрической установке, так и расчетным способом. Зная элементный состав топлива, произведем расчет низшей теплоты сгорания по формуле Д.И. Менделеева:

$$H_u = (34,013 \cdot C + 125,6 \cdot H - 10,9 \cdot (O - S) - 2,512 \cdot (9H + W)) \cdot 10^6, \text{ Дж/кг},$$

где  $W$  – количество водяного пара в продуктах сгорания.

Таким образом, низшая теплота сгорания рапсового масла составит:

$$H_{uPM} = (34,013 \cdot 0,768 + 125,6 \cdot 0,118 - 10,9 \cdot 0,113 - 2,512 \cdot 9 \cdot 0,118) \cdot 10^6 \text{ Дж/кг};$$

$$H_{uPM} = 37,08 \text{ МДж/кг}.$$

Для дизельного топлива этот показатель равен  $H_{удт} = 42,5 \text{ МДж/кг}$ .

Низшую теплоту сгорания смесового топлива можно рассчитать по формуле:

$$H_{исм} = K_{pm} \cdot H_{uPM} + K_{от} \cdot H_{удт}.$$

Важнейшим свойством топлив, оказывающим заметное влияние на характер процесса топливоподачи, является вязкость. Вязкость – это свойство частиц жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению под действием внешней силы. Кинематическая вязкость является удельным коэффициентом внутреннего трения. Значение кинематической вязкости дизельного топлива при 40°C должно

находиться в пределах 2–4,5 сСт [5]. Вязкость рапсового масла на порядок выше этого показателя и при 40°С составляет 34 сСт.

Положительным эффектом от повышения вязкости является улучшение смазывания плунжерных пар, повышение их долговечности и снижение утечек через неплотности прецизионных пар, что способствует обеспечению давления впрыска топлива 17,5–20 МПа и выше. Но при этом увеличиваются нагрузки на детали топливного насоса высокого давления, ухудшается пропускная способность фильтров и увеличивается гидродинамическое сопротивление трубопроводов.

Существует ряд эмпирических формул для выражения зависимости вязкости от температуры [8, с. 120]:

$$\lg \frac{\nu_t}{\nu_{20}} = \frac{C}{t - 20} - \text{формула Фильчера-Таманна-Гессе},$$

$$\nu_t = \frac{1}{A + B \cdot t + C \cdot t^2} - \text{формула Дина-Лена},$$

$$\lg \nu_t = \frac{A}{t + 92,8} + B - \text{формула Слоуна-Вининга}.$$

где  $\nu_{20}$  – кинематическая вязкость топлива при 20°С.

Однако используемые в формулах коэффициенты А, В, С для различных топлив различны, что является существенным недостатком.

В.Я. Колупасевым для расчета зависимости вязкости от температуры была предложена формула без эмпирических коэффициентов [7, с. 135; 8, с. 120]:

$$\nu_{t1} = \nu_{20} + (1,1 \cdot \nu_{20} - 0,3) \cdot (1,3 - \lg t). \quad (7)$$

Формула является наиболее универсальной и может быть использована для широкого диапазона топлив. Для топлив с  $\nu_{t1} \leq 4 \text{ мм}^2/\text{с}$  в диапазоне температур 0–100°С погрешность расчета не превышает 7%. Однако при добавлении в топливо 40% рапсового масла формула дает погрешность 31%, что является недопустимым. На основании анализа проведенных нами исследований предложена формула для расчета вязкости смесевых топлив на основе рапсового масла:

$$\nu_{t2} = \nu_{20} + (1,1 \cdot \nu_{20} - 0,3) \cdot (1,3 - \lg t) - (0,1172 \cdot \nu_{20} - 0,5101) \cdot \sqrt{\ln\left(\frac{t}{20}\right)}. \quad (8)$$

Максимальная погрешностью расчета по формуле составляет 9,9% при этом температура смесового топлива должна находиться в пределах  $t=1-80^\circ\text{C}$ , а концентрация рапсового масла в топливе  $K_{pm}=0-40\%$ .

Результаты расчета формулами 7 и 8 представлены в табл. 2.

Таблица 2. Значения вязкости смесевых топлив на основе рапсового масла от температуры.

Температура	Дизельное топливо (ДТ)					60%ДТ+40%РМ				
	Опытное значение	Расчетный метод				Опытное значение	Расчетный метод			
		$\nu_{t1}$	погрешность, %	$\nu_{t2}$	погрешность, %		$\nu_{t1}$	погрешность, %	$\nu_{t2}$	погрешность, %
10	5.25	5.16	1.71	5.11	2.64	16.94	15.88	6.29	16.67	1.64
20	3.88	3.88	0.11	3.88	0.11	11.94	11.93	0.11	11.93	0.11
30	3.03	3.12	3.10	3.17	4.46	8.95	9.61	7.41	8.95	0.06
40	2.48	2.59	4.47	2.64	6.44	7.03	7.97	13.40	7.19	2.20
50	2.17	2.18	0.33	2.23	2.81	5.47	6.70	22.42	5.84	6.64
60	1.74	1.84	5.70	1.90	8.99	4.32	5.66	31.15	4.74	9.89
70	1.52	1.55	2.21	1.61	6.13	4.03	4.78	18.56	3.82	5.21
80	1.31	1.31	0.30	1.37	4.41	3.27	4.02	23.03	3.03	7.32

Важнейшим свойством топлив для дизеля является их самовоспламеняемость, определяющая пусковые свойства дизеля, жесткость рабочего процесса, расход топлива и дымность отработавших газов [8, с. 102]. Цетановое число, наряду с величиной периода задержки самовоспламенения является критерием оценки воспламеняемости. Цетановое число определяется моторным методом согласно СТБ ИСО 5165. Согласно этому стандарту цетановое число определяется по методу совпадения вспышек на однокцилиндровой моторной установке. Это достаточно трудоемко и требует материальных затрат [9].

Для моторных топлив уже существует корреляция между ЦЧ и их основными свойствами. Возможны следующие виды функциональных зависимостей для ЦЧ [9, 10]:

$$\text{ЦЧ} = f_1(t_{50}, \rho);$$

$$\text{ЦЧ} = f_1(t_{50}, \rho, A_m);$$

$$\text{ЦЧ} = f_1(t_{50}, \rho, \%H);$$

$$\text{ЦЧ} = f_1(t_{50}, \rho, \text{АУ\% или ПУ\%}),$$

где  $A_m$  – анилиновая точка;  $H$  – содержание водорода по массе, %;  $AУ$  – содержание ароматических углеводородов;  $ПУ$  – содержание парафиновых углеводородов.

Е.С. Чуршуковым предложена зависимость, по которой, зная плотность и вязкость топлива, можно определить его цетановое число:

$$\text{ЦЧ}_1 = (\nu_{20} + 17,8) \cdot \frac{1587,9}{\rho_{20}}, \quad (9)$$

где  $\nu_{20}$  – вязкость при 20°C в мм<sup>2</sup>/с;  $\rho_{20}$  – плотность топлива при 20°C в кг/м<sup>3</sup>.

Известна эмпирическая зависимость для расчета ЦЧ топлив различного фракционного состава:

$$\text{ЦЧ}_2 = 524 - 20,88 \cdot \sqrt[3]{0,3 \cdot t_{10} + 0,53 \cdot t_{50} + 0,17 \cdot t_{96}} - \frac{2605 \cdot \rho_{20}}{\sqrt[3]{0,3 \cdot t_{10} + 0,53 \cdot t_{50} + 0,17 \cdot t_{96}}}, \quad (10)$$

где  $t_{10}$ ,  $t_{50}$ ,  $t_{96}$  – температуры выкипания 10, 50 и 96% топлива, °C;  $\rho_{20}$  – плотность при 20°C в г/см<sup>3</sup>.

В [10, 11] даны уравнения, которые, по утверждению авторов, пригодны для определения ЦЧ бензиновых и не нефтяных топлив.

$$\text{ЦЧ}_3 = 25,88 \cdot \ln(t_{50}) - 12,79 \cdot (\rho_{20} - 0,835) + 76,96 \cdot \ln(H) - 294,3, \quad (11)$$

или

$$\text{ЦЧ}_4 = 21,56 \cdot \ln(t_{50}) - 59,346 \cdot (\rho_{20} - 0,835) + 75,455 \cdot \ln(H) - 265,2, \quad (12)$$

где  $H$  – содержание водорода по массе, %.

Для расчета цетанового числа широкого диапазона дизельных топлив можно использовать более точные уравнения, разработанные фирмой «Этил» [10, 11]:

$$\text{ЦЧ}_5 = 0,018669 \text{ЦЧ}^2. \quad (13)$$

Рассчитаем цетановый индекс согласно СТБ ИСО 4264-2003 [12]:

$$\text{ЦИ} = 45,2 + 0,0892 \cdot T_{10N} + (0,131 + 0,901 \cdot B) \cdot T_{50N} + (0,0523 - 0,42 \cdot B) \cdot T_{90N} + 0,00049 \cdot (T_{10N}^2 + T_{90N}^2) + 107 \cdot B + 60 \cdot B^2$$

где  $T_{10N} = T_{10} - 215$ ,  $T_{50N} = T_{50} - 260$ ,  $T_{90N} = T_{90} - 310$ ,  $t_{10}$ ,  $t_{50}$ ,  $t_{90}$  – температуры выкипания 10, 50 и 90% топлива, °C.

$$B = (\exp(-0,0035(\mathcal{T}_{15} - 850)) - 1), \quad (14)$$

где  $\rho_{15}$  – плотность топлива при 15°C в кг/м<sup>3</sup>.

Результаты расчетов по рассмотренным формулам представлены в табл. 3.

Таблица 3. Значения цетановых чисел смесевых топлив на основе рапсового масла.

Вид топлива	ЦЧ*	Расчетный метод											
		ЦЧ <sub>1</sub>	погрешность, %	ЦЧ <sub>2</sub>	погрешность, %	ЦЧ <sub>3</sub>	погрешность, %	ЦЧ <sub>4</sub>	погрешность, %	ЦЧ <sub>5</sub>	погрешность, %	ЦЧ <sub>6</sub>	погрешность, %
Дизельное топливо (ДТ)	48	41,2	-14	49,6	3	52,9	10	53,9	12	44,9	-6	48,0	0,0
95%ДТ+5%РМ	47,4	42,7	-10	49,2	4	52,8	11	53,6	13	45	-5	47,9	1,1
90%ДТ+10%РМ	46,8	43,4	-7	47,1	1	52,4	12	53	13	42,3	-10	47,3	1,1
80%ДТ+20%РМ	45,6	45,9	1	44,3	-3	51,9	14	52	14	39,3	-14	46,4	1,8
70%ДТ+30%РМ	44,4	49,6	12	42,7	-4	51,9	17	51,4	16	34,3	-23	45,0	1,3
60%ДТ+40%РМ	43,2	54,3	26	41,4	-4	52	20	50,9	18	31,2	-28	43,9	1,6
50%ДТ+50%РМ	42,0	64,1	53	35,8	-15	50	19	48,6	16	24,7	-41	42,3	0,8
40%ДТ+60%РМ	40,8	73,8	81	35,2	-14	48,4	19	46,6	14	22	-46	40,9	0,4
30%ДТ+70%РМ	39,6	88	122	29,9	-24	46,8	18	44,7	13	22,1	-44	39,8	0,5
20%ДТ+80%РМ	38,4	103,6	170	26,9	-30	44,7	16	42,4	10	23,3	-39	38,6	0,6
10%ДТ+90%РМ	37,2	124,4	234	27,1	-27	44,1	19	41,2	11	24,6	-34	37,2	0,1
Рапсовое масло (РМ)	36	173,8	383	25,1	-30	43,2	20	39,8	11	23,3	-35	35,9	-0,3

\* Данные для дизельного топлива приведены согласно документации на топливо. Данные по рапсовому маслу – согласно [13].

Используемое дизельное топливо имеет  $\text{ЦЧ}_{\text{ДТ}}=48$ ,  $\text{ЦИ}_{\text{ДТ}}=49$ . Цетановое число рапсового масла согласно данным В.А. Маркова полученным в МГТУ им. Н.Э. Баумана, равно  $\text{ЦЧ}_{\text{РМ}}=36$  [13]. Цетановое число смесевых топлив рассчитаем по формуле:

$$\text{ЦЧ}_{\text{см}} = K_{\text{рм}} \cdot \text{ЦЧ}_{\text{РМ}} + K_{\text{от}} \cdot \text{ЦЧ}_{\text{ДТ}}. \quad (15)$$

Таким образом, наиболее удовлетворительное соответствие расчетных цетановых чисел с экспериментальными значениями обнаруживается для дизельного топлива –  $\text{ЦЧ}_2$ . Однако при увеличении концентрации рапсового масла в смеси цетановое число начинает резко падать и для чистого рапсового масла погрешность составляет 30%. Для рапсового масла наиболее близкое совпадение расчетного и экспериментального метода получается при расчете по формуле  $\text{ЦЧ}_4$ , при этом погрешность составляет 11%.

Цетановое число является комплексным критерием оценки воспламеняемости топлив, который должен учитывать не только влияние физических свойств топлива, но и его состав. Количество водорода учитывается в формуле  $\text{ЦЧ}_3$ , которая дала хороший результат при расчете цетанового числа рапсового масла. Однако здесь недостаточно полно учтено влияние фракционного состава топлива, так как кривые разгонки для дизельного топлива и смесевых на основе рапсового масла значительно отличаются. Поэтому считаем необходимым применить такой показатель, как среднеобъемная температура кипения  $t_{\text{ср.о}}$  [1, 14]:

$$t_{\text{ср.о}} = \frac{t_{10} + t_{20} + t_{30} + t_{50} + t_{60} + t_{70} + t_{80} + t_{90}}{9}. \quad (16)$$

Для получения более точных результатов в формуле  $ЦЧ_3$  изменим свободный множитель 294,3 на 299,4 и коэффициент 12,79 на 39,17. Также в выражении вместо  $t_{50}$  подставим  $t_{cp}$ .

$$ЦЧ_6 = 25,88 \cdot \ln(t_{cp}) - 39,17 \cdot (\rho_{20} - 0,835) + 75,455 \cdot \ln(H) - 299,4. \quad (17)$$

Полученная формула позволяет рассчитать цетановое число смесевых топлив на основе рапсового масла с погрешностью менее 2% (табл. 3).

### **Заключение**

1. Получена формула для расчета вязкости смесевых топлив на основе рапсового масла при температуре топлива от 1 до 80°C с максимальной концентрацией масла  $K_{pm}=40\%$ , которая позволяет получить данные с погрешностью 0,06–9,9%.

2. Усовершенствована формула для расчета цетанового числа смесевых топлив на основе рапсового масла, которая позволяет рассчитать цетановое число с погрешностью менее 2%.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Кузнецов, А.В. Топливо и смазочные материалы / А.В. Кузнецов. М.: КолосС, 2007. 199 с.
2. Тютюнников, Б.Н. Химия жиров / Б.Н. Тютюнников. М.: Пищевая промышленность, 1974. 447 с.
3. СТБ 1486-2004. Масло рапсовое. Технические условия. Минск: БелГИСС, 2004. 13 с.
4. Семенов, В.Г. Альтернативные топлива растительного происхождения / В.Г. Семенов, А.А. Зинченко // Химия и технология топлив и масел. 2005. №1. С. 29–34.
5. СТБ 1658-2006. топлива для двигателей внутреннего сгорания. Топливо дизельное. Технические требования и методы испытаний. Минск: БелГИСС, 2006. 11 с.
6. Марков, В.А. Топлива и топливopодача многотопливных и газодизельных двигателей / В.А. Марков, С.И. Козлов. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000. 296 с.
7. Грехов, Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. 2-е изд. М.: Легион-Автодата, 2005. 344 с.
8. Марков, В.А. Топлива и топливopодача многотопливных и газодизельных двигателей / В.А. Марков, С.И. Козлов. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2000. 296 с.
9. Букреев, Г.А. Совершенствование рабочего процесса высокооборотного дизеля с открытой камерой сгорания при работе на различных топливах: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Г.А. Букреев. М.: РГБ, 2006.
10. Камфер, Г.М. Математическое моделирование процесса сгорания спиртосодержащего топлива в дизеле / Г.М. Камфер, С.А. Плотноков. Киров: Типография «Авангард», 2005. 106 с.
11. An improved cetane number prediction for alternative fuels. SAE Techn. Pap. Ser., 1983. №831746.
12. СТБ ИСО 4264-2003. Нефтепродукты. Расчет цетанового индекса средних дистиллятов по уравнению с четырьмя переменными. Минск: БелГИСС, 2003. 7 с.
13. Марков, В.А. Улучшение качества процесса смесеобразования дизеля при его работе на рапсовом масле / В.А. Марков, Д.А. Коршунов, С.Н. Девянин, О.В. Дробышев // Сб. науч. трудов по материалам Междунар. конф. Двигатель-2007, посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 572 с.
14. Камфер, Г.М. Научные основы эффективного применения топлив различного состава в автотракторных дизелях: дис. ... д-ра. техн. наук: 05.04.02 / Г.М. Камфер. М.: РГБ, 2004.